

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Návrh větrné elektrárny

Proposal of Wind Power Plant

Student:

Robert Suchý

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Robert Suchý**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí**
Téma: **Návrh větrné elektrárny
Proposal of Wind Power Plant**

Zásady pro vypracování:

Proveďte studii možného nasazení větrné elektrárny ve vybrané lokalitě.

Práce bude obsahovat:

1. Přehled současného stavu a vývoje větrné energetiky. Stav a perspektivy využívání větrné energie v ČR.
2. Analýzu větrných poměrů ve vybrané lokalitě.
3. Odhad přínosu elektrárny z energetického, ekonomického a environmentálního hlediska.

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J., VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.

TURNER, W., C. *Energy Management Handbook*. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 40 s. ISBN: 0-13-728098-X.

RYCHETNÍK V.; PAVELKA, J.; JANOUŠEK, J. *Větrné motory a elektrárny*. Vyd. 1. Praha : České vysoké učení technické, 1997. 199 s. ISBN 80-01-01563-7.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**


Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014





prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2014


.....*Sud*.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO), má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů. (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16.5.2014


.....
Suchý Robert

Adresa trvalého pobytu:

F.S.Tůmy 1245

735 14 Orlová

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SUCHÝ R. *Návrh větrné elektrárny*. Ostrava: katedra energetiky, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2014, 55 s.

Bakalářská práce, vedoucí Vrtek, M.

V Bakalářské práci je proveden návrh velké větrné elektrárny pro zadanou lokalitu. Lokalita se nachází u obce Rejchartice přibližně 7,5 km severně od Šumperka v Olomouckém kraji. V první části práce je uveden princip větrné energie. Následně je v práci uveden přehled větrné energetiky v Evropě, ve světě a následně stav a potenciál větrné energetiky v České republice.

V praktické části je pro vybranou lokalitu zvolena velká větrná elektrárna a vypracována analýza větrných poměrů. Následně se práce zabývá odhadem přínosu elektrárny z energetického, ekonomického a environmentálního hlediska.

ANNOTATION OF BACHELOR

SUCHÝ R. *Proposal of Wind Power Plant*. Ostrava: Department of Power Engineering, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2014, 55 p.

Bachelory, head: Vrtek, M.

In the thesis I feasible suggestion about large wind power plant for the assigned location. The site is located near the village Rejchartice approximately 7.5 km north of Šumperka in the Olomouc region. The first part include the principle of wind energy, also include the list of wind energy in Europe, in the world and consequently the status and potential of wind energy in the Czech Republic.

In the practical part I deal with selected location of chosen by a large wind power plant and an analysis of wind conditions. Subsequently, the thesis deals with estimation of the contribution of power from the energy, economic and environmental point of view.

OBSAH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

1.	ÚVOD.....	9
2.	VÍTR	10
3.	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU A VÝVOJE VĚTRNÉ ENERGETIKY	13
3.1	SOUČASNÝ STAV VĚTRNÉ ENERGETIKY V EVROPĚ.....	13
3.2	SOUČASNÝ STAV VĚTRNÉ ENERGETIKY VE SVĚTĚ.....	15
3.3	VÝVOJ VĚTRNÉ ENERGETIKY	17
4.	STAV A PERSPEKTIVY VYUŽÍVÁNÍ VĚTRNÉ ENERGETIKY V ČR.....	19
4.1	SOUČASNÝ STAV VĚTRNÉ ENERGETIKY V ČR.....	19
4.2	PERSPEKTIVY VYUŽÍVÁNÍ VĚTRNÉ ENERGETIKY V ČR..	20
5.	SLOŽENÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	22
5.1	ZÁKLADNA	22
5.2	STOŽÁR	24
5.3	GONDOLA	26
5.4	ROTOR.....	29
6.	ANALÝZA VĚTRNÝCH POMĚRŮ VE VYBRANÉ LOKALITĚ ..	31
6.1	VÝBĚR LOKALITY	31
6.2	VÝBĚR VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	32
6.3	ANALÝZA VĚTRNÝCH POMĚRŮ POMOCÍ WEIBULLOVA ROZDĚLENÍ.....	34
7.	ODHAD PŘÍNOSU A VLIVU VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	39
7.1	ODHAD PŘÍNOSU Z ENERGETICKÉHO HLEDISKA	39
7.2	ODHAD PŘÍNOSU Z EKONOMICKÉHO HLEDISKA	40
7.3	VLIV ELEKTRÁRNY Z ENVIROMENTÁLNÍHO HLEDISKA.	41
7.3.1	HLUČNOST	42
7.3.2	VLIV NA ZVĚŘ	44
7.3.3	VLIV NA TELEVIZNÍ, RÁDIOVÝ A TELEKOMUNIKAČNÍ SIGNÁL	46
7.3.4	STÍN VRTULE (DISCOEFEKT)	46
7.3.5	RÁZ KRAJINY A TURISMUS.....	47
8.	ZÁVĚR	48
	SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ	49

SEZNAM TABULEK.....	51
SEZNAM OBRÁZKŮ	51
SEZNAM PŘÍLOH.....	52

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

VELIČINA	JEDNOTKA	NÁZEV
A_{el}	kWh	Výkon větru
b	-	Parametr tvaru rozdělení
F	Hz	Frekvence
I	Kč	Pořizovací náklady
I_v	W/m^2	Intenzita toku větru
K	-	Součinitel využití
\dot{m}	kg/s	Hmotnostní průtok
N	roky	Návratnost
P	kW	Instalovaný výkon
P_{el}	kW	Výkon elektrárny
P_1	kW	jmenovitý výkon elekt.
P_v	kW	Výkon vzdušného proudu
S	m^2	Velikost průtočné plochy
w_r	kWh	Celková roční produkce
Z	Kč	Zisk
c	m/s	Rychlost větru
c_p	-	Účinnost stroje
c_s	m/s	Střední rychlost větru
d	-	Parametr rozptylu
t	h	Čas
ρ	kg/m^3	Hustota vzduchu

1. ÚVOD

Větrnou energii řadíme mezi obnovitelné zdroje energie. Její využívání datujeme zhruba 5000 let př. n. l., kdy starověcí Egypťané využívali její energii k pohonu lodí a tedy k přímé přeměně větrné energie na mechanickou energii. Později se vítr používal například k pohonu větrných mlýnů nebo čerpadel.

Práci na téma větrné elektrárny a větrné energetiky jsem se rozhodl provést, jelikož očekávám, že větrná energetika bude v budoucnu čím dále tím více využívaným zdrojem energie. U tohoto typu energie jsou sice vcelku vysoké pořizovací náklady, ovšem následný provoz těchto zařízení nestojí prakticky nic, až na případné servisní, popřípadě opravářské práce.

Větrná energetika, ale i ostatní alternativní zdroje energie už dnes dosahují vysokých nárůstů instalovaných výkonů po celém světě, a to hlavně z důvodů ekologie, bezpečnosti a jiných. Větrné elektrárny stále rostou do větších a větších rozměrů, kde ve vyšších výškách působí více větrné energie, a tím pádem se otevírají nové možnosti výstavby těchto strojů i ve dříve nevhodných oblastech.

Díky politice podpory alternativních zdrojů energie, se mnoho lidí uchyluje k využívání těchto zdrojů pro vlastní potřebu. Využívání fosilních paliv nebudeme moci provozovat do nekonečna, a proto si myslím, že je dobře, že se začíná čím dále tím více využívat těchto zdrojů.

2. VÍTR

Za vítr považujeme pohyb vzduchu v atmosféře, vzhledem k povrchu země. Vítr vzniká mezi dvěma místy s rozdílnými tlaky vzduchu, a ty jsou zapříčiněny nerovnoměrným ohřevem planety sluncem. Silou tlakového spádu tzv. gradientu, jsou částice vzduchu přivedeny do pohybu, a to ve směru od vyššího tlaku k tlaku nižšímu. Velikost tlakového spádu nám určuje sílu větru. Za předpokladu, že by na částice vzduchu působila pouze horizontální síla tlakového spádu, tehdy by směr větru byl shodný s tímto tlakovým spádem. Vítr by tedy měl směr kolmý k nižšímu tlaku, tedy kolmý na izobary. Izobary jsou čáry, které nám spojují místa na synoptické mapě se stejnými hodnotami tlaku vzduchu, přepočítaného na hladinu moře. U přízemních synoptických map se těmito izobarami zakresluje rozložení tlaku vzduchu a také se vymezují tlakové útvary. Na vzduchové částice působí ještě další dvě síly. Síla Coriolisova, neboli síla zemské rotace a u křivočarých pohybů také síla odstředivá. Rovnováha mezi dříve zmiňovaným tlakovým spádem a těmito dvěma silami způsobuje, že pohyb vzduchových částic je zhruba shodný s izobarami. Vítr při zemském povrchu je také ovlivňován třením. Zjednodušeně k nepravidelnému, nejčastěji vodorovnému proudění vzduchu dochází z následujících důvodů:

- vlivem rotace planety
- rozdíly teplot například mezi mořem a pevninou nebo mezi horami a údolími
- v důsledku střídání teplot

Rychlost větru můžeme určovat dvěma způsoby. První způsob je přímé určení rychlosti větru například metrů za sekundu, a to například přístroji, jako je anemometr (viz. obrázek 2.4) nebo ve stupních. Tyto stupně se určují odhadem, a to pomocí Beaufortovy stupnice. Při zemském povrchu je rychlost větru proměnlivá, a proto se standardně vítr měří v 10 metrech nad zemí, kde již jeho rychlost není natolik ovlivňována terénními překážkami. S nárůstem výšky zpravidla dochází i k vyšší rychlosti větrů. Pro měření rychlosti a směru větru, ale i jiných klimatických jevů, nám slouží síť meteorologických stanic, provozovaných Českým Hydrometeorologickým ústavem. Naměřené výsledky bývají kontrolovány, archivovány a následně za určitou úhradu jsou k dispozici, a to jako nezpracovaná data nebo jako data zanalyzována pro různé účely. Rychlost větru je proměnlivý jev, a proto zavádíme tzv. průměrnou

rychlost větru, která nám udává průměrnou hodnotu v určitém časovém horizontu, například jedné minuty nebo celého dne. Nárazová rychlost větru je nejvyšší rychlost v jednorázovém nárazu.

Beaufortova stupnice rychlosti větru				
Stupeň	Rychlost větru [m/s]	Tlak větru [kg/m ³]	slovně	znaky na souši
0	0-0,2	0	bezvětří	kouř stoupá svisle vzhůru
1	0,3-1,5	0-0,1	vánek	kouř nestoupá úplně svisle
2	1,6-3,3	0,2-0,6	slabý vítr	listí šelestí
3	3,4-5,4	0,7-1,8	mírný vítr	listí a větvičky v pohybu
4	5,5-7,9	1,9-3,9	dostí čerstvý vítr	vítr zvedá prach a papíry
5	8-10,7	4-7,2	čerství vítr	hýbe listnatými keři
6	10,8-13,8	7,3-11,9	silný vítr	hýbe silnějšími větvemi
7	13,9-17,1	12-18,3	prudký vítr	pohybuje celými stromy
8	17,2-20,7	18,4-26,8	bouřlivý vítr	láme větve
9	20,8-24,4	26,9-37,3	vichřice	menší škody na stavbách
10	24,5-28,4	37,4-50,5	silná vichřice	vyvrací stromy a ničí domy
11	28,5-32,6	50,6-66,5	mohutná vichřice	rozsáhle zpustošené plochy
12	32,7- ?	66,6-?	orkán	ničivé účinky odnáší domy

Tabulka 2.1 Beaufortova stupnice síly větru

Slunce předává zhruba 2 procenta energie dopadající na zemský povrch proudění vzduchu a podle odhadů by z něj mělo být možno získat až 26 [PWh]. Na celé zemi je střízlivě odhadován potenciál v energii větrů, až na 1 000 [TW].

Výpočet výkonu vzdušného proudu:

$$P_v = \dot{m} \cdot \frac{c^2}{2} = S \cdot \rho \cdot c \cdot \frac{c^2}{2} = S \cdot \rho \cdot \frac{c^3}{2} \quad [\text{W}] \quad (2.1)$$

Kde:	S	-velikost průtočné plochy	[m ²]
	c	-rychlost větru	[m/s]
	ρ	-hustota vyduchu	[kg/m ³]
	ṁ	-hmotnostní průtok	[kg/s]

Výpočet intenzity toku větru:

$$I_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c^3 \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.2)$$

Kde:	ρ	- hustota vyduchu	[kg/m ³]
	c	- rychlost větru	[m/s]

Využívání větrné energie je ještě omezováno:

- nejmenší ekonomicky využitelnou rychlostí větru a výškou stožáru
- rozlohou území, které je vhodné pro výstavbu větrných zařízení
- ročním součinitelem využití energie větru „K“
- účinností a charakteristikou větrných motorů

Kapitola vypracována z [7]

3. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU A VÝVOJE VĚTRNÉ ENERGETIKY

3.1 SOUČASNÝ STAV VĚTRNÉ ENERGETIKY V EVROPĚ

První větrnou elektrárnu sestrojil Američan Charles F. Brush v roce 1887-1888. V Evropě to potom byl v roce 1891 Dán Poul la Cour. Jeho elektrárna se podobala spíše větrnému mlýnu, díky jejím lopatkám, které byly stejně jako u větrných mlýnů potažené plátnem.

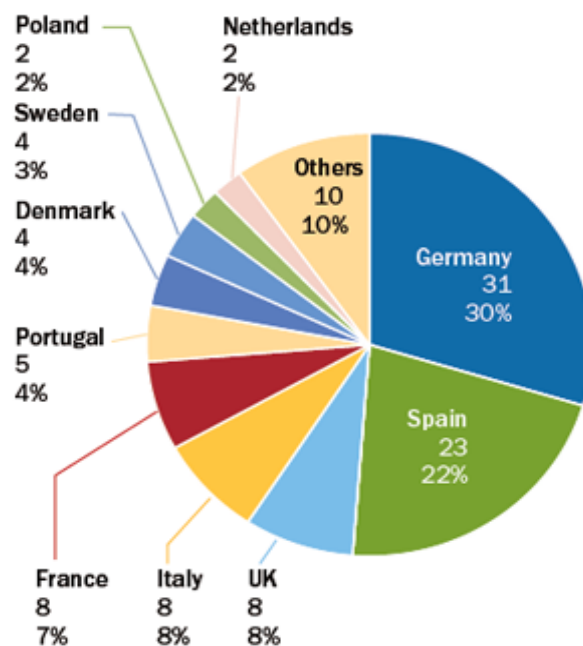
V 70. letech 20. století dochází k velkému rozvoji větrné energetiky, díky vzestupu cen paliv. Později v 80. a 90. letech 20. Století, je největší rozmach větrné energetiky zaznamenán v Dánsku a Německu a ve špičce výroby větrných motorů se drží až dodnes.

Oblasti, které jsou nejvýhodnější pro stavbu větrných motorů, se nachází při pobřeží severního moře a patří mezi ně země jako Dánsko, Nizozemsko, Německo, Velká Británie a Francie. V těchto oblastech vanou poměrně silné větry až 80% dní v roce.

V celé Evropské Unii činil instalovaný výkon ve větrné energetice na přelomu roku 2012 - 2013 zhruba 106 [GW]. Mezi největší producenty patří Německo s 31,3 [GW], Španělsko 22,8 [GW] a Velká Británie 8,4 [GW]. Momentálně větrná energetika obstarává zhruba 7% celkové poptávky po elektřině.

Nárůst větrných kapacit, který je mimochodem hned za solární energií největší ze všech obnovitelných zdrojů, je způsoben dotacemi Evropské Unie na obnovitelné zdroje energie. Dnes celá čtvrtina nárůstu energie v EU pochází z větrných elektráren. Za rok 2012 to představovalo investici ve výši 12,8 miliardy eur. Největší nárůst větrných elektráren momentálně zaznamenává Německo, a to hlavně díky plánu Německé vlády zbavit se postupně všech jaderných elektráren. Tato myšlenka vznikla po tragédii ve Fukušimě.

**FIGURE 3.5 EU MEMBER STATE MARKET SHARES FOR TOTAL
INSTALLED CAPACITY. TOTAL 105.7 GW**



Obrázek 3.1 Podíl zemí EU na celkovém instalovaném výkonu [%] [1]

**FIGURE 3.4 CUMULATIVE WIND POWER INSTALLATIONS IN THE
EU (GW)**



Obrázek 3.2 Celkový instalovaný výkon VE v EU v letech 2000/12 [GW] [1]

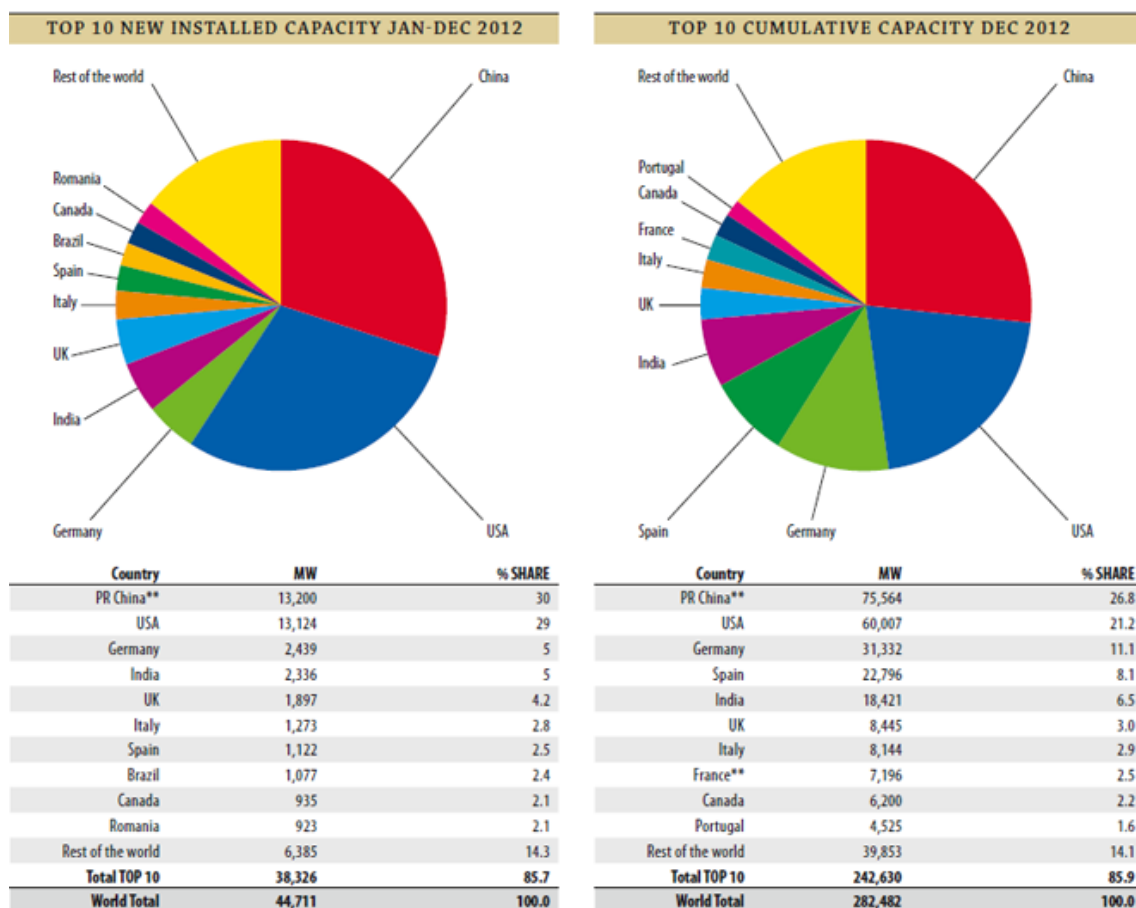
3.2 SOUČASNÝ STAV VĚTRNÉ ENERGETIKY VE SVĚTĚ

Využívání větrné energie ve světě, se ve velké míře začalo používat při osídlování západu USA nebo také Austrálie. Do poloviny 19. století v USA bylo postaveno na 6 milionu větrných strojů, které sloužily hlavně na čerpání vody na farmách a později i k výrobě elektřiny.

Na Americkém kontinentu jsou největšími producenty větrné energie USA a Kanada. Tyto dvě země mají vhodné podmínky pro stavbu větrných elektráren, hlavně při severním pobřeží Atlantického oceánu, Tichého oceánu a u pobřeží Severního ledového oceánu. Jedna z největších větrných farem se nachází v Texasu. Farma se jmenuje Roscoe, její výkon je 781,5 [MW] a má 627 větrných motorů. Severní Amerika má celkový instalovaný výkon asi 67,6 [GW].

V Asii je největším producentem větrné energie Čína. Čína za poslední desetiletí prošla obrovským rozmachem na poli větrné energetiky. Dnes je Čína největším producentem větrné energie na světě. Její instalovaný výkon ve větru je 75,5 [GW]. Pro srovnání celá Asie disponuje instalovaným výkonem asi 97,8 [GW]. Dalším velkým producentem se začíná stávat i Indie, kde by do budoucna mohl být velký potenciál, jelikož Indie jako druhá nejlidnatější rozvojová země, bude mít stále vyšší energetické nároky, podobně jako Čína.

Celkový instalovaný výkon ve Světě činí zhruba 282,4 [GW], z toho 109,2 [GW] zaujímá Evropa, 67,6 [GW] Severní Amerika, 97,8 [GW] Ásie a o zbytek 4,6 [GW] se dělí Jižní Amerika a Afrika.



Obrázek 3.3 Nově instalovaný a celkový výkon větrných elektráren v jednotlivých zemích na konci roku 2012 [MW] [2]

Jak můžeme vidět i na (viz. obrázek 3.3) je patrné, že největší podíl na poli větrné energetiky obsazují dvě země, a to Čína a USA. U zemí jako je Německo a Indie lze předpokládat v nejbližších letech velký rozvoj větrné energetiky. Jak bylo již dříve řečeno (viz. kapitola 3.1), Německo se zavázalo postupnou likvidací jaderných elektráren a větrná energetika by měla hrát významnou roli v nahrazování jaderných elektráren. Pokud jde o Indii, bude potřeba pokrývat stále rostoucí poptávku po energii a větrná energie by opět mohla hrát významnou roli.

3.3 VÝVOJ VĚTRNÉ ENERGETIKY

Větrné stroje za dobu své existence prošly velkými změnami. První větrné motory pracovaly na tzv. odporovém principu. Tyto stroje mohou mít vodorovnou i svislou osu otáčení a v podstatě pracují tak, že kladou větru odpor. Na ploše, která klade odpor je generovaná síla a tato síla je přeměňována obvykle na rotační pohyb. Příkladem takového odporového větrného motoru může být například miskový anemometr. Je to Polokoule, která je nastavena proti větru, svou dutinou klade větru zhruba 3,5 krát větší odpor než polokoule, která je proti větru nastavená svou vypuklou částí.



Obrázek 2.4 Anemometr-čidlo rychlosti a směru větru [11]

Později se začaly hojně využívat větrné motory, pracující na vztakovém principu. Mezi tyto motory patří vrtule a větrná kola s vodorovnou osou. Tyto motory jsou natočeny proti větru svou rovinou otáčení. U vrtulí se můžeme nejčastěji setkat se třemi nebo dvěma listy. S narůstajícím počtem listů se snižuje účinnost. Byly sestaveny i větrné motory s jedním listem a na druhé straně s protizávažím, avšak z hlediska praktického se nejvíce osvědčily třílisté vrtule. Větrná kola nemají vrtule, ale jednoduché lopatky. Počty těchto lopatek se pohybují od čtyř, až po desítky, záleží na velikosti kola a na kritériu rychloběžnosti. Frekvence otáčení u stejných průměrů rotorů nepřímo závisí na počtu lopatek.



Obrázek 3.5 Třílístá větrná elektrárna, Nový Hrádek [12]

Dnešní trend směřuje neustále k zvětšování průměru rotoru. Je to logické, protože se snažíme v dané lokalitě vytěžit co nejvíce energie. Pokud uvažujeme, že výkon větrné elektrárny závisí na druhé mocnině průměru rotoru, pokud vycházíme ze vzorce výkonu:

$$P_{el} = \frac{1}{2} \rho c^3 c_p S \quad [W] \quad (3.1)$$

Kde: P_{el} - výkon větrné elektrárny [W]
 ρ - hustota vzduchu [kg/m^3]
 c - rychlost proudění vzduchu [m/s]
 c_p - účinnost stroje [-]
 S - plocha rotoru [m^2]

Dnešní rotory mají průměry až 140 metrů a výkon 10 [MW], i když v tomto případě se jedná spíše o prototypy. Nejčastěji používanými větrnými elektrárnami jsou elektrárny s průměry rotoru 90 metrů a výkonem 2 [MW]. Při porovnání s předchozími lety, kdy například v roce 1985 patřily mezi největší 50 [kW] elektrárny s průměrem zhruba 15 metrů, tak je to obrovský skok dopředu.

Do budoucna se očekává neustále rostoucí trend do výšky u větrných elektráren. Tyto moderní stroje nelze, co se týče efektivity, nahradit ani větším počtem menších elektráren. Ve světě i nadále bude narůstat podíl větrné energetiky, a to díky faktorům, jako je bezpečnost, čistota, levná energie a jiné. Velký nárůst využívání této energie můžeme očekávat v Německu díky postupné odstávce jaderných elektráren. V EU jako

takové, díky podpoře obnovitelných zdrojů, ale také v Číně, Indii, USA a jiných zemích.

4. STAV A PERSPEKTIVY VYUŽÍVÁNÍ VĚTRNÉ ENERGETIKY V ČR

4.1 SOUČASNÝ STAV VĚTRNÉ ENERGETIKY V ČR

V roce 2013 přibýlo nainstalování 8 [MW] ve větrné energetice což znamená, že česká republika výrazně zaostává za ostatními zeměmi EU. Tento stav je podmíněn malým potenciálem naší země pro větrnou energetiku. Celkový instalovaný výkon činil 268 [MW]. Výroba elektřiny z větrných elektráren činila zhruba 478 [GWh]. Tento stav pokryl potřebu zhruba 136 000 domácností.

Největší větrná farma v ČR se nachází v Ústeckém kraji. Tato farma se nachází v lokalitě Kryštofovy Hamry a obsahuje 21 větrných turbín o výkonu 42 [MW]. Další větrné farmy s počtem turbín nad 5, jsou například Horní Loděnice, Červený kopec, Ostružná, Lysý vrch u Albrechtic a Andělka. K 1. 1. 2013 se v ČR nacházelo 172 větrných turbín s instalovaným výkonem nad 1 [MW]. Největší větrné turbíny v ČR jsou na Kladensku a mají instalovaný výkon 3 [MW]. Tyto elektrárny jsou dvě, stožár má výšku 88 metrů a průměr listů rotorů je 100 metrů.



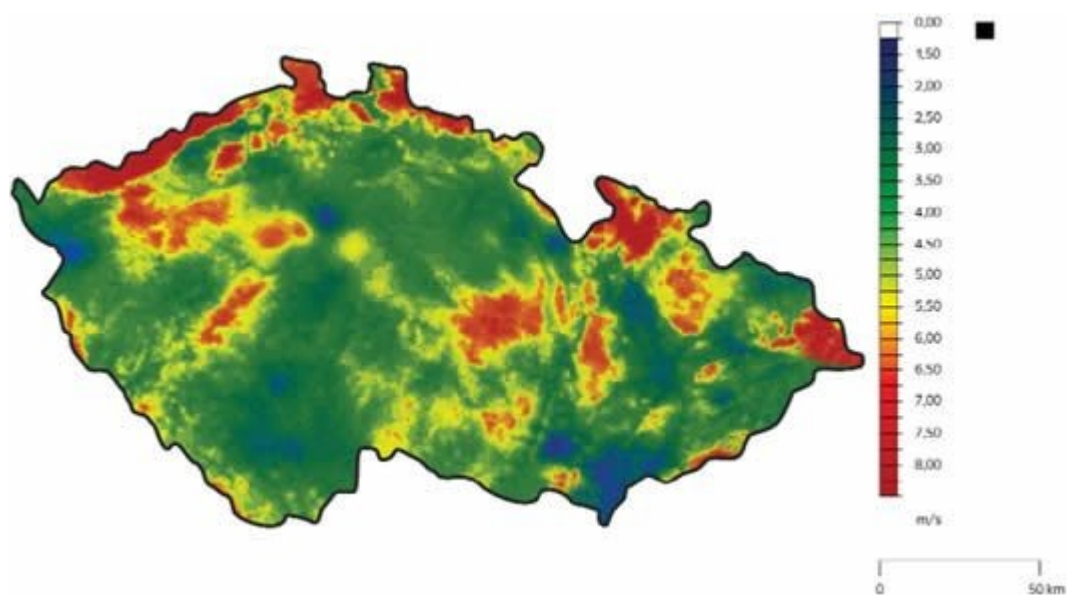
Obrázek 4.1 Stavba největší větrné turbíny v ČR [8]

4.2 PERSPEKTIVY VYUŽÍVÁNÍ VĚTRNÉ ENERGETIKY V ČR

Ke konci roku 2004 byl instalovaný výkon ve větrné energetice v ČR 15 [MW]. Ke konci roku 2012 to už bylo 268 [MW]. Nepravidelnost a nahodilost síly i směru větru způsobují, že větrné elektrárny v ČR jsou schopny pracovat 10 až 20% roční doby. Pracovníky ústavu Akademie věd byly zmapovány vhodné lokality pro výstavbu větrných elektráren. Mimořádně vhodné oblasti pro výstavbu v ČR, kde střední rychlost větru převyšuje 6 [m/s] a nejvyšší střední rychlost větru až 8,5 [m/s], jsou na Milešovce, Pradědu a planinách krušných hor. Plocha mimořádně vhodná pro výstavbu na území ČR byla vytipována na rozlohu zhruba 885 [km²]. To znamená, že převážná část našeho území vykazuje jen malou střední rychlost větru. Podle odhadů by na území Krušných hor mohlo být postaveno 230-340 větrných elektráren, každá o výkonu 1,2 až 2 [MW]. Při teoretickém využití větrné energie v naší zemi by bylo možno vyrobit až 6 [TWh] ročně, což by mohlo vystačit pro spotřebu 4 milionů lidí.

Jak můžeme vidět na (viz. obrázek 4.2) většina vhodných míst pro stavbu VE, se nachází v horských oblastech nebo oblastech s vyšší nadmořskou výškou. Pokud z možných lokalit pro stavbu větrných elektráren vyloučíme Chráněné Krajinné Oblasti a Národní parky, získáme onu plochu 885 [km²], a i proto si myslím, že větrná energie u nás nikdy nebude hrát významnou roli, jako je tomu například v Německu nebo Dánsku, kde mají velké předpoklady, aby se větrná energie zařadila mezi nejvýznamnější zdroje energie, a to i například díky tomu, že dnes hojně kromě pevniny využívají také mořské plochy, kde ve velkém staví větrné parky. Výstavba na moři má také výhody v tom, že nijak neruší obyvatelstvo a nenarušují ráz krajiny.

V budoucnu ovšem perspektivy využívání větrné energie v ČR mohou a pravděpodobně i vzrostou díky zavádění stále vyšších elektráren, které budou moci využívat rychlosti větru ve vyšších nadmořských výškách. Tím pádem se i zvětší rozsah možných míst k využívání.



Obrázek 4.2 Větrná mapa ČR v 10 m nad zemí[m/s] [10]

Na (viz. obrázek 4.2), jsou tmavou barvou zvýrazněné vhodné lokality pro výstavbu větrných elektráren. Tyto lokality jsou nejhojněji využívány hlavně v Krušných horách.

5. SLOŽENÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

5.1 ZÁKLADNA

Větrné elektrárny se skládají ze čtyř základních částí. Tyto části jsou základna, stožár, gondola a rotor.

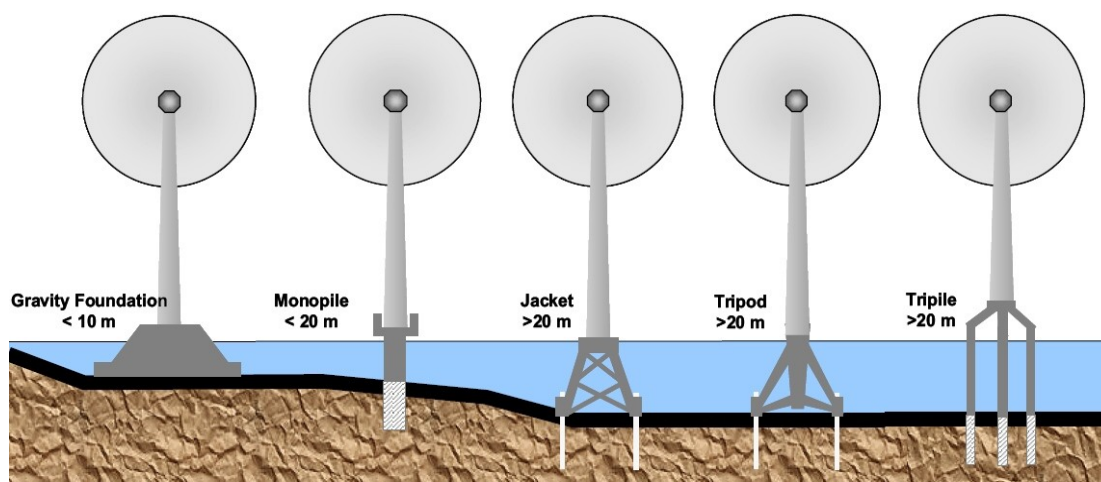
První součástí je základna. Základna je zákonitě nejtěžší součást celé elektrárny a bývá zpravidla budovaná již dlouho dopředu před samotnou výstavbou elektrárny. Pro představu si můžeme uvést pár čísel o hmotnostech jednotlivých dílů, například u dvou megawattové elektrárny. Hmotnost základu s čtvercovými rozměry 16 metrů a výškou až 2 metry může dosahovat až 1150 tun. Přičemž hmotnost stožáru s výškou 105 metrů je až 225 tun. Hmotnost gondoly spolu s rotorem (68 a 38 tun), dosahuje až 106 tun. Hmotnosti se samozřejmě různí v závislosti na typu elektrárny a výrobcí. V našem případě jsem kalkuloval s údaji o větrné elektrárně VESTAS V90 o instalovaném výkonu dvou megawatt, jak bylo již výše zmíněno.

Než dojde k samotnému zahájení stavby základů, je potřeba udělat důkladný geologický průzkum, při kterém se zjišťuje celková stabilita půdy. Po důkladném průzkumu je zapotřebí vykopat jámu s danými rozměry. Pokud jsme při průzkumu zjistili, že se půda skládá například ze spraše, je nutné zavést určité zhutnění. Půda se zhutní tak, že se vykope až půl metru zeminy a promíchá se s cementem. Na místě se tato zemina zhutní a vytvoří tak stabilní základovou spáru. Po vytvoření stabilní základové spáry se na ní vylije betonová deska. Deska může mít tloušťku až 80 centimetrů. Na tuto dokonalou rovnou desku se ustaví ocelový kruh stožáru, takzvaný fundament. Rozměr fundamentu má zhruba 4 metry v průměru a je vybaven otvory pro armovací tyče a pro přívod kabeláže. Hmotnost fundamentu je zhruba 28 tun a pro zajištění dokonalé vodorovnosti se ještě používají distanční šrouby.



Obrázek 5.1 Ocelový fundament na betonové desce [3]

Po ustanovení fundamentu se provede armování. Armatury mohou vážit i 40 tun. Při pokládání armatur se nesmí zapomenout i na položení trubek pro kabeláž. Následně se celý prostor obežene bedněním a vylije betonem. Množství betonu je zhruba 500 metrů krychlových, a tomu odpovídá až 80 nákladních míchačů. Po dokonalém vyžrání betonu, které trvá zpravidla několik týdnů, se na základ nanese asfaltová penetrace a v oblasti styku fundamentu a betonu se nanese plastický nátěr, který má funkci izolace dotýkajících se ploch a také umožňuje určitou vůli při tepelné roztažnosti obou materiálů. V úplném závěru se pouze natáhne kabeláž a základ se zanesе zeminou. Kotvení větrných elektráren je potom samostatnou kapitolou. Na (viz. obrázek 5.2) jsou nastíněny možné druhy ukotvení elektráren na vodě. Kapitola 5.1 vypracována z [3].

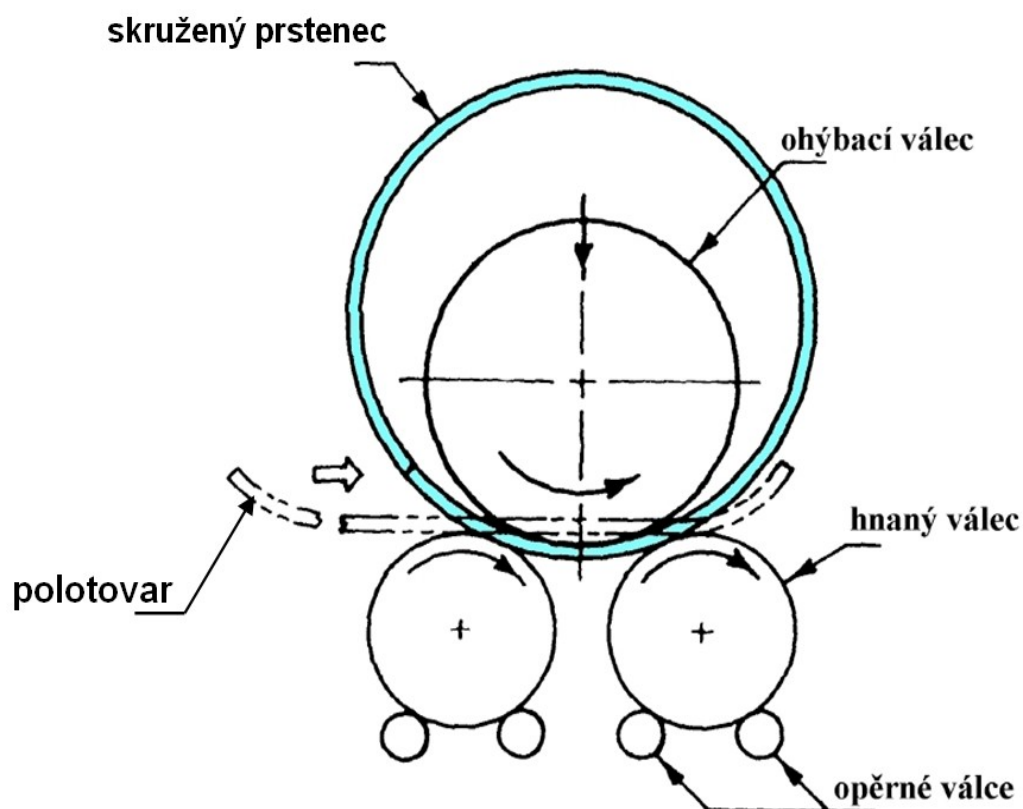


Obrázek 5.2 Možnosti ukotvení elektráren na vodě (moři) [3]

5.2 STOŽÁR

Druhou součástí větrné elektrárny je stožár. Stožáry se pohybují nejčastěji od 40 do 110 metrů. Stožáry rozdělujeme na 3 základní. Stožáry ocelové tubusové, příhradové a betonové. Nejčastěji užívanými stožáry jsou ocelové tubusové.

Ocelové tubusové stožáry se zpravidla skládají z jednotlivých až 20 metrových dílů, z důvodů snadnější přepravy. Následně jsou na místě stavby sešroubovány dohromady. U vysokých stožárů se nejčastěji používá povrchová úprava nátěrem. U menších stožárů se může použít pozinkování. Základem výroby každého stožáru je ocelový plech, který může mít různou tloušťku i délku, v závislosti na umístění konkrétního dílu na stožáru. Tloušťka plechu při základně bývá až 45 milimetrů a obvod může být i 12,5 metrů. Tloušťka plechu u gondoly bývá minimálně 12 milimetrů. Nařezané plechy na požadované rozměry se dále posunou na válcovou skružovací stolicí, kde se z plechů docílí požadovaný tvar kruhy a následně se svaří oba konce plechu k sobě.



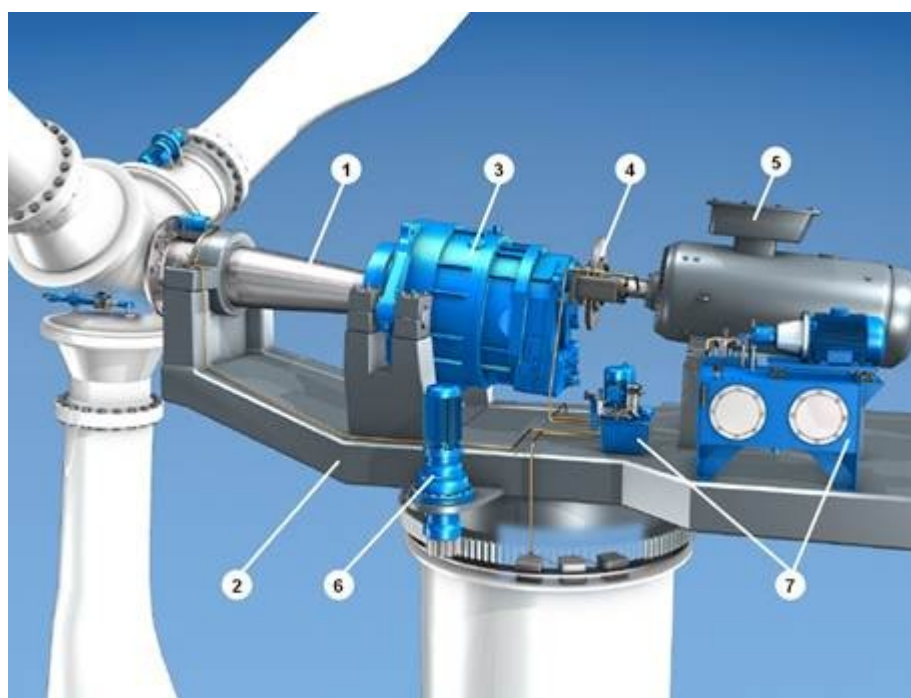
Obrázek 5.3 Plech skružovaný na skružovací stoličce [3]

Po zhotovení prstenců, se tyto prstence svaří do jednoho až 20 metrového segmentu a zároveň se ke koncům segmentů přivaří příruby, které budou sloužit k následnému spojení jednotlivých segmentů na stavbě. Při instalaci přírub na segmenty se dbá na vysokou přesnost, aby dva segmenty na stavbě do sebe navzájem dobře zapadaly a mohly být smontovány. Svarová spojení jsou následně kontrolována. Kontroly probíhají ultrazvukem, kdy se zjišťují hlavně vnitřní vady. Při optické kontrole se zjišťuje stav svaru pouhým okem nebo za pomoci různých přístrojů. U této kontroly se dbá hlavně na povrchové trhliny, povrchové póry a podobně. Poslední zkouškou, je zkouška magnetická, kdy jsou zjišťovány povrchové nebo podpovrchové vady. Následně segment projde povrchovou úpravou, jak již bylo dříve zmíněno zpravidla nátěrem, a do útrob segmentu je nainstalován žebřík, kabelový rošt a plošina na konci segmentu pro pozdější přístup montéru k sestavování segmentů. Kapitola 5.2 vypracována z [3].

5.3 GONDOLA

Další nedílnou součástí větrné elektrárny je gondola. Ta je z pravidla sklolaminátová a v ní je umístěná strojovna. Strojovny se v závislosti na výrobcích mohou lišit. Strojovny mohou být s převodovkou a asynchronním generátorem, kterými se vyznačuje například výrobce VESTAS. Dále to mohou být strojovny bez převodovky a s multipólovým synchronním generátorem, která používá například německý výrobce ENERCON a jejich výhodou je hlavně tišší provoz. Posledním typem mohou být elektrárny s převodovkou, variátorem a synchronním generátorem. Tento typ strojovny využívá například česká společnost WIKOV.

Můžeme si uvést základní popis větrné elektrárny například od německého výrobce SIEMENS.



Obrázek 5.4 Základní popis strojovny od společnosti SIEMENS [3]

- 1 – Hlavní hřídel
- 2 – Nosný rám stroje
- 3 – Převodovka
- 4 – Spojení mezi převodovkou a generátorem
- 5 – Generátor
- 6 – Systém natáčení
- 7 – Hydraulické systémy

Česká republika se může pyšnit tím, že se řadí mezi největší producenty hlavních hřídelí pro větrné elektrárny. Patří mezi ně firmy, jako Škoda Plzeň a Vítkovice Steel. Hřídele se skládají z jednoho kusu výkovku a následně jsou obráběny na přesné tvary a rozměry. Jednu stranu hřídele tvoří příruba, ke které bude později připevněna hlava rotoru.

Další součástí stroje je nosný rám, který slouží pro nesení komponentů stroje. Vyrábí se z ocelových plátů a jeho tvary jsou přizpůsobené pro dosazení a připevnění jednotlivých komponentů stroje. Česká republika se opět může pochlubit výrobcem těchto nosných rámu pro velké větrné elektrárny. Jde o společnost SIAG, která sídlí v Chrudimi.

Jak již bylo dříve řečeno, nedílnou součástí některých výrobců větrných elektráren je převodovka. Převodových ústrojí elektráren je velké množství. Záleží na konkrétním typu a výrobci elektráren. Ovšem každé převodové ústrojí je velmi namáhanou součástí, protože dochází k velmi kolísavým zatížením rotoru. U některých porывů větru může docházet i k několikanásobnému zatížení, než je standardní provozní zatížení. Je tedy důležité počítat s vysokým koeficientem bezpečnosti. Pro co nejnižší provoz převodovek se uchylujeme k úpravě ozubení, a to broušením, kalením, nitridováním a cementováním.

Pro spojení převodovky s generátorem využíváme jednu hřídel nebo dvě souosé hřídele, které spojujeme spojkou a jejich účel je kompenzovat rázy při náhlých porывech větru. Na hřídeli hned za převodovkou ještě umístíme brzdou.

Generátory mohou být synchronní nebo asynchronní a v dnešní době se využívá stále více mnohápólových generátorů. Užití typu generátoru opět záleží hlavně na výrobcích. U asynchronních generátorů, se používají 4-pólové generátory a u synchronních využíváme 6-pólové.

Pro natáčení gondoly využíváme systémy natáčení strojovny. Strojovna je usazena na otočné kuličkové ložisko. Vnější klec ložiska je přišroubována na stožár a na vnějším povrchu je vytvořeno ozubení. Co se týče vnitřní klece, tak ta je připevněna k rámu strojovny. Na tomto rámu jsou umístěny také motory, které celou strojovnou otáčejí doleva či doprava, v závislosti na směru větru a jsou také vybaveny čelistovými brzdami.

Poslední součástí strojovny bývají hydraulické systémy. Tyto systémy jsou využívány k pohonu brzd, a to brzdy generátoru hřídele, brzdy otáčení strojovny nebo brzdy rotoru. Dále se využívají například k natáčení listů elektrárny. Kapitola 5.3 vypracována z [3].

5.4 ROTOR

Jako poslední součást větrné elektrárny máme rotor. Konstrukce rotorových listů se skládá z kompozitové skořepiny a ta je vevnitř vyztužená nosníkem. Tento nosník je nosičem hlavního zatížení. Skořepina je vyrobena z mnoha vrstev skelné tkaniny, do které se někdy přidává výplňový materiál, například tvrzená pěna pro zvýšení tuhosti. Pro zvýšení pevnosti nosníku je na něj přidávána také tkanina z kevlaru či uhlíku. Při navrhování vnitřní konstrukce listů, tedy vrstvení jednotlivých druhů tkanin s různými orientacemi vláken, se nesmíme spoléhat pouze na konstruktérovu intuici, ale vše podléhá důkladným pevnostním výpočtům. Výpočty bývají složité, jelikož jednotlivé vrstvy v kompozitové konstrukci mají různou pevnost a směrovou orientaci této pevnosti. Dnes se běžně používají výpočtové metody převzaté z leteckého průmyslu. Výpočty spočívají v rozdělení součásti na jednotlivé elementy, u kterých jsou výpočty snadné, jako například čtverec, trojúhelník a jiné. U těchto elementů jsme schopni spočítat napětí a deformace. Po rozsáhlých výpočtech jsme nakonec schopni sestavit grafické napěťové či deformační mapy.



Obrázek 5.5 Řez rotorovým listem větrné elektrárny[3]

U většiny větrných elektráren využíváme třílisté rotory. Dvoulisté rotory sice dosahují vyšší rychloběžnosti, ovšem třílisté rotory se ukázaly jako výhodnější, vzhledem k menšímu namáhání od gyroskopických momentů. Dále díky vyváženému a menšímu namáhání celého rotoru dynamickými silami, které vznikají díky rozdílným rychlostem větru na ploše rotoru. Toto namáhání můžeme pozorovat hlavně u velkých větrných elektráren.

Výroba listů spočívá v ukládání tkaniny do připravené formy a následném impregnování laminační vrstvy pryskyřicí. K natírání pryskyřice se používá váleček nebo štětec, a je nutno zajistit pouze potřebné množství pryskyřice, neboť větší množství může zhoršovat výsledné mechanické vlastnosti celého listu.

Rotory větrných elektráren se mohou potýkat i s problémy, jako jsou námrazy. U většiny elektráren se při námraze elektrárna odstavuje, z důvodů bezpečnosti, i tak tento problém nebývá velký, protože k námraze nedochází často. Firma ENERCON přišla s řešením, kdy je schopna do listů rotoru zavést vyhřívání. Spočívá to v tom, že je do náběžné hrany listů foukán teplý vzduch z ventilátoru a na konci listu se vzduch otočí a proudí zpět na odtokové straně listů. Tento systém vyhřívání je třeba důkladně zvážit z ekonomického hlediska, jelikož je vcelku energeticky náročný. Kapitola 5.4 vypracována z [3].

6. ANALÝZA VĚTRNÝCH POMĚRŮ VE VYBRANÉ LOKALITĚ

6.1 VÝBĚR LOKALITY

Jedna z vhodných lokalit, a zároveň nepříliš daleko je obec Rejchartice, zhruba 7,5 [km] severně od Šumperka. V této lokalitě se již nacházejí větrné elektrárny. Na červeném vrchu je celkem 6 větrných turbín o instalovaném výkonu 13,8 [MW]. Pro můj projekt jsem si vybral sousední kopec Kozí skalka. Kozí skalka se nachází zhruba kilometr od zmiňované větrné farmy. Nadmořská výška tohoto kopce je zhruba 700 metrů. Kopec se tyčí severovýchodně od obce, a v dané lokalitě panují vcelku příznivé podmínky pro stavbu větrných elektráren. Nejbližší zástavba se nachází asi 700 metrů daleko. K lokalitě výstavby vede nezpevněná cesta.



Obrázek 6.1 Fotografie Kozího vrchu u obce Rejchartice [4]

6.2 VÝBĚR VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

Pro svůj projekt jsem si vybral velkou větrnou elektrárnu o výkonu 2 [MW] od Německé společnosti Enercon. Tato společnost dlouhodobě zaujímá první místa v prodeích větrných elektráren v Německu, ale i v jiných zemích.

Společnost od svých počátků využívá technologii mnohapólového generátoru. Ve své konstrukci také úplně vynechává převodovku, co má za následek snížení hmotnosti celé elektrárny, snížení hluku, snížení třecích ztrát a v neposlední řadě odstranění možných poruch na převodovce. Lopatky roztáčí hřídel, která je vlastně současně rotor a na tomto rotoru je umístěn jeden prstenec cívek, druhý prstenec je satorový. V závislosti na síle větru, čili kroutícího momentu, se zapojují jednotlivé pólové dvojice. Čili s narůstající silou větru se zapojuje více pólových dvojic. Následná vyrobená energie se ještě musí pomocí výkonové elektroniky upravovat, aby se následně mohla posílat do sítě. V souvislosti s touto úpravou vznikají určité ztráty. Konkrétní model, který jsem si vybral, má název ENERCON E82.

TECHNICKÁ DATA, ENERCON E82	
Jmenovitý výkon	2 000 kW
Průměr rotoru	82 m
Výška náboje	70-138 m
Plocha rotoru	5 281 m ²
Počet listů rotoru	3
Otáčky rotoru	6-19,5 ot/min
Generátor	Synchronní, prstencový
Brzdové systémy	3 nezávislé pitch čepelové systémy s nouzovým napájením - Rotorová brzda - Zámek rotoru
Regulace výkonu	„pitch“

Tabulka 6.1 Větrná elektrárna ENERCON E82 technická data



Obrázek 6.2 Větrná elektrárna ENERCON E82 [17]

6.3 ANALÝZA VĚTRNÝCH POMĚRŮ

POMOCÍ WEIBULLOVA ROZDĚLENÍ

Nejdůležitější faktor pro využívání větrné energie je rychlost větru. Rychlost větru se v průběhu času mění, a proto je v dlouhodobém sledování popisovaná, jako střední rychlost větru c_s [m/s] za jeden rok. Střední rychlost je pouze informativní hodnota, pokud ovšem není doplněna o rozdělení četnosti větru. Toto rozdělení lze vyjádřit sloupcovým grafem, ve kterém se ke každé rychlosti větru přiřadí číslo, které vyjadřuje procentuální podíl vybrané rychlosti na době, po kterou byl vítr měřen. [7]

Stanovení větrných podmínek bylo odhadem uskutečněno s pomocí softwaru „Větrný atlas České republiky“ [16]. Tento atlas byl vytvořen Ústavem fyziky atmosféry Akademie věd ČR. Pro naši lokalitu budeme počítat s průměrnou rychlostí větru 6,1 [m/s]. Pro matematický výpočet je někdy vhodné nahradit empiricky naměřené hodnoty rychlosti větru, teoretickým rozdělením. Rozdělení, které nejlépe vystihuje četnosti rychlosti větru, je považováno dvouparametrické Weibullovo rozdělení nebo také speciální případ Weibullova rozdělení, rozdělení Rayleighovo [5].

Na modelování jsme použili Weibullovo rozdělení. Jeho distribuční funkce je definována:

$$F(c) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{c}{d} \right)^b \right] \quad [\text{m/s}] \quad (6.1)$$

Parametry „d“ a „b“ jsou kladné parametry rozdělení. Parametr „b“ nám určuje tvar rozdělení a parametr „d“ nám udává měřítko hodnot, kterých funkce hustoty Weibullova rozdělení nabývá. Pokud za parametr „b“ zvolíme 2, potom se Weibullovo rozdělení bude shodovat s rozdělením Rayleighovým. V případě, že za parametr „b“, zvolíme 1, potom Weibullovo rozdělení bude exponenciálním. Parametr rozptylu „d“ stanovíme ze vztahu pro střední hodnotu Weibullova rozdělení [5]:

$$c_s = d \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right) \quad [\text{m/s}] \quad (6.2)$$

Po úpravě získáme vztah pro určení parametru rozptylu „d”:

$$d = \frac{c_s}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \frac{6,1}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{2}\right)} = \frac{6,1}{0,886\,227}$$

$$d = 6,883\,1 \quad (6.3)$$

Kde Γ je Gama funkce a tuto funkci určujeme z tabulek nebo jako v našem případě pomocí Excelu. Funkce v Excelu má tvar EXP (GAMMALN(1/2+1)).

Celou větrnou analýzu si nyní sepíšeme do tabulky (viz. tabulka 5.2). Bude obsahovat hranice tříd [m/s], průměr tříd [m/s], Weibullovo rozdělení, počet hodin v roce, výkon větrné elektrárny a množství vyrobené energie. Budeme počítat s 10% ročním bezvětrím, to znamená, že počítáme s 328,5 dni v roce. Větrná elektrárna Enercon E82, začíná pracovat při rychlosti větru 2 [m/s]. S těmito fakty budeme muset počítat při výpočtech v tabulce.

Pro střední rychlost větru 6,1 [m/s]						
Hranice Tříd [m/s]	Průměr Tříd [m/s]	F(x)	$\Delta F(x)$	Počet hodin v roce [h]	Pel [kW]	Ael [kWh]
0,25		0,001318				
0,75	0,5	0,011803	0,010484	82,66		
1,25	1	0,032442	0,020639	162,72		
1,75	1,5	0,062596	0,030154	237,73		
2,25	2	0,101344	0,038748	305,49	3	916,47
2,75	2,5	0,147535	0,046191	364,17	14	5098,35
3,25	3	0,199841	0,052306	412,38	25	10309,49
3,75	3,5	0,256822	0,056981	449,24	53,5	24034,33
4,25	4	0,316992	0,06017	474,38	82	38899,05
4,75	4,5	0,37888	0,061888	487,93	128	62454,44
5,25	5	0,44109	0,06221	490,46	174	85340,74
5,75	5,5	0,502349	0,061259	482,97	247,5	119534,2
6,25	6	0,561545	0,059197	466,71	321	149812,5
6,75	6,5	0,617756	0,05621	443,16	426,5	189009
7,25	7	0,670258	0,052503	413,93	532	220210,8
7,75	7,5	0,718536	0,048277	380,62	673,5	256346,6
8,25	8	0,762267	0,043731	344,78	815	280993,6
8,75	8,5	0,801312	0,039045	307,83	997,5	307058,9
9,25	9	0,835687	0,034375	271,02	1180	319798,2
9,75	9,5	0,865542	0,029855	235,38	1380	324815,2

10,25	10	0,891127	0,025585	201,71	1580	318708,5
10,75	10,5	0,912769	0,021642	170,63	1695	289213,9
11,25	11	0,930843	0,018074	142,49	1810	257914,4
11,75	11,5	0,945748	0,014905	117,51	1895	222677,5
12,25	12	0,957887	0,012139	95,71	1980	189496,5
12,75	12,5	0,967653	0,009766	76,99	2015	155148
13,25	13	0,975415	0,007762	61,20	2050	125454,2
13,75	13,5	0,981511	0,006096	48,06	2050	98519,67
14,25	14	0,986241	0,00473	37,29	2050	76451,38
14,75	14,5	0,989869	0,003628	28,60	2050	58629,22
15,25	15	0,992618	0,002749	21,68	2050	44437,21
15,75	15,5	0,994678	0,00206	16,24	2050	33290,27
16,25	16	0,996203	0,001525	12,03	2050	24652,23
16,75	16,5	0,99732	0,001117	8,80	2050	18046,44
17,25	17	0,998128	0,000808	6,37	2050	13060,16
17,75	17,5	0,998706	0,000578	4,56	2050	9344,37
18,25	18	0,999115	0,000409	3,22	2050	6610,25
18,75	18,5	0,999401	0,000286	2,26	2050	4623,50
19,25	19	0,999599	0,000198	1,56	2050	3197,62
19,75	19,5	0,999734	0,000135	1,07	2050	2186,77
20,25	20	0,999826	9,15E-05	0,72	2050	1478,81
20,75	20,5	0,999887	6,12E-05	0,48	2050	988,95
21,25	21	0,999927	4,05E-05	0,32	2050	654,03
21,75	21,5	0,999954	2,65E-05	0,21	2050	427,75
22,25	22	0,999971	1,71E-05	0,13	2050	276,67
22,75	22,5	0,999982	1,10E-05	0,09	2050	176,99
23,25	23	0,999989	6,93E-06	0,05	2050	111,98
23,75	23,5	0,999993	4,34E-06	0,03	2050	70,071
24,25	24	0,999996	2,68E-06	0,02	2050	43,36
24,75	24,5	0,999998	1,64E-06	0,01	2050	26,54
25,25	25	0,999999	9,95E-07	0,008	2050	16,07
CELKEM [kWh]					4 350 565,26	

Tabulka 6.2 Vypočtené výsledky větrné analýzy

Funkci $F(c)$ vypočteme v Excelu, díky vestavěné funkci, která má tvar WEIBULL (hranice tříd; b ; d ; 1)

Kde: b - je konstanta a pro naše podmínky volíme z pravidla 2
 d - parametr rozptylu v našem případě 6,8831

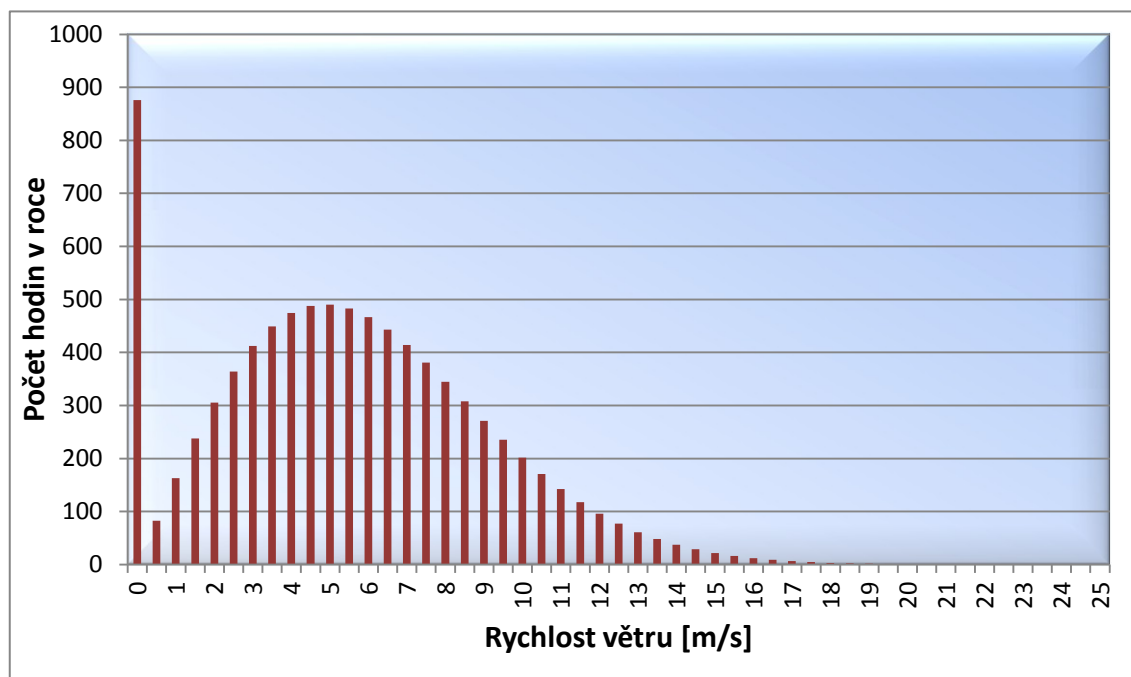
Počet hodin značených „t“, jsi pro jednotlivé četnosti větru vypočteme ze vztahu:

$$t = 328,5 \cdot 24 \cdot \Delta F(c) \quad [h] \quad (6.4)$$

kde: 328,5 - počet hodin v roce po odečtení bezvětří zhruba 10%

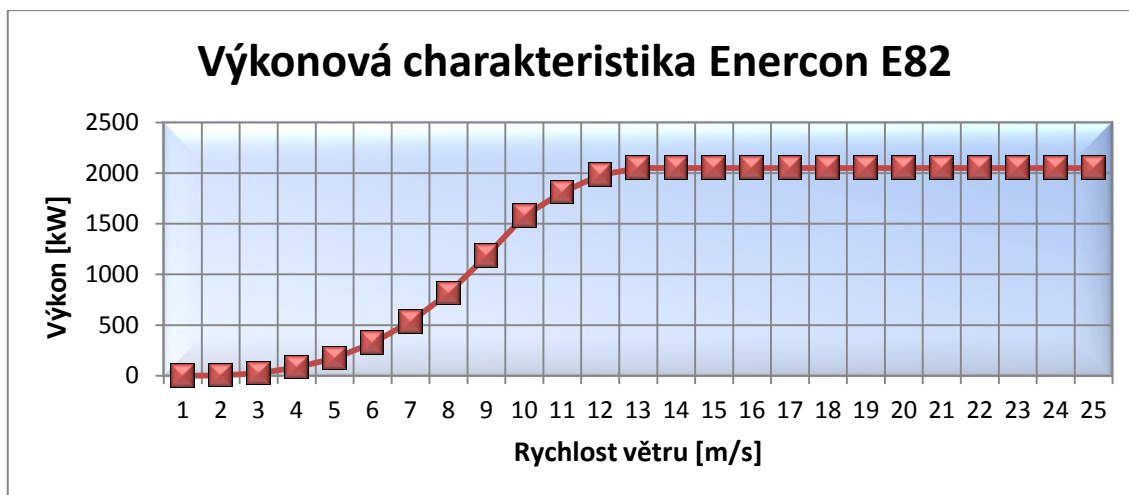
24 - počet hodin za den

$\Delta F(c)$ - rozdíl $F(c)$ pro rychlost větru 0,5 a 0,25, dále 0,75 a 0,5 a tak dál



Obrázek 6.3 Rozložení rychlostí větru v roce

Výkon větrné elektrárny značený „ P_{el} “ stanovíme z výkonnostní křivky (viz. obrázek 6.4), která vychází z dat od výrobce větrné elektrárny. Větrná elektrárna Enercon E82 začíná pracovat při rychlosti větru 2 [m/s], výpočty proto začínají touto rychlostí větru.



Obrázek 6.4 Výkonová charakteristika elektrárny Enercon E82

Nejdůležitějším faktorem je množství vyrobené energie značené „ A_{el} “. Toto množství vyrobené energie získáme tím, že vynásobíme výkon větrné elektrárny při dané rychlosti větru s dobou trvání těchto větrných podmínek. Pro výpočet A_{el} použijeme jednoduchý vztah:

$$A_{el} = P_{el} \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (6.5)$$

kde: P_{el} - výkon větrné elektrárny [kW]
 t - počet hodin v roce pro danou rychlost větru [h]

Veškeré výpočty jsou vypočteny a sepsány v (viz. tabulka 6.2)

Součinitel instalovaného výkonu „ K “ spočteme ze vztahu:

$$K = \frac{W_r}{P_1 \cdot (365 \cdot 24)} = \frac{4\,350\,565,27}{2\,000 \cdot (365 \cdot 24)} = 0,248\,3 \quad (6.6)$$

kde: W_r - celkové množství vyrobené energie za rok [kWh]
 P_1 - jmenovitý výkon větrné elektrárny [kW]
 $(365 \cdot 24)$ - počet hodin v roce [h]

7. ODHAD PŘÍNOSU A VLIVU VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

7.1 ODHAD PŘÍNOSU Z ENERGETICKÉHO HLEDISKA

Z analýzy větrných poměrů (viz. Kapitola 6.3) jsme získali představu o množství vyrobené energie v dané lokalitě. Celkové množství vyrobené energie za rok nám vyšlo 4,35 [GWh], což může odpovídat spotřebě energie až pro 1500 domácností. Pro srovnání celkového množství vyrobené elektrické energie z větrných elektráren v České republice, činilo za rok 2013 zhruba 478 [GWh]. Tohle množství vyrobené energie odpovídá pokrytí energie v 136 000 domácnostech. Z (viz. tabulka 6.2) je patrné, že největší množství energie elektrárna produkuje v rychlostech větru mezi 8,5 až 10 [m/s]. Pro každou rychlost větru odstupňovanou po 0,5 [m/s], elektrárna produkuje zhruba 0,3 [GWh].

7.2 ODHAD PŘÍNOSU Z EKONOMICKÉHO HLEDISKA

Výstavbou velkých větrných elektráren se zabývá množství společností, jako například KV VENTI s. r. o nebo W. E. B Windenergie AG. Společnost KV VENTI realizuje výstavbu větrných elektráren od výrobců větrných elektráren VESTAS a ENERCON. Uvádí, že náklady na realizaci velké větrné elektrárny s průměrem rotoru 90 metrů se mohou vyšplhat až na 90 milionu korun. Pro samotnou realizaci je nutná úplná příprava a projektová dokumentace. Elektrárna bude napojena na síť a následná vyrobená energie bude prodávána.

Jak již bylo v (viz. kapitola 6.3) spočteno, celková roční vyrobená energie, při průměrné rychlosti větru 6,1 [m/s], činila $w_r = 4\,350\,565,27$ [kWh]. Výkupní cena elektrické energie z větrných elektráren za rok 2013 činila 2,12 [Kč/kWh]. Jednoduchým výpočtem tedy zjistíme roční zisk z elektrárny:

$$\begin{aligned} Z &= 2,12 \cdot W_r = 2,12 \cdot 4\,350\,565,27 \\ Z &= 9\,223\,198,4 \end{aligned} \quad [\text{Kč}] \quad (7.1)$$

kde: w_r - celkové množství vyrobené energie za rok [kWh]
2,12 - výkupní cena elektřiny [Kč]

Pokud tedy známe roční zisk z elektrárny, můžeme spočítat celkovou návratnost investice vložené do elektrárny, která činí 90 milionu korun. Celková návratnost investice by podle firmy KV VENTI s. r. o. měla být do 10 let. Použijeme opět jednoduchý výpočet:

$$N = \frac{I}{Z} = \frac{90\,000\,000}{9\,223\,198,4} = 9,75 \quad [\text{roků}] \quad (7.2)$$

kde: I - celkové investiční náklady [Kč]
 Z - roční zisk z elektrárny [Kč]

Celková návratnost vyšla do deseti let, elektrárna je tedy výhodná pro danou lokalitu.

7.3 VLIV ELEKTRÁRNY Z ENVIROMENTÁLNÍHO HLEDISKA

V současnosti je důležité dbát na co nejmenší znečišťování prostředí. U nás je většina elektrické energie vyráběna v uhelných elektrárnách a to sebou přináší velkou zátěž na životní prostředí z hlediska vyprodukovaných emisí a dalších škodlivých látek. V minulosti byla tato problematika odsouvána na druhou kolej, ale v současnosti se podniká celosvětově mnohem více úsilí na snižování emisí a škodlivých látek. Jedním z řešení jsou právě obnovitelné zdroje energie, ovšem ty podléhají vysokým investičním nákladům a proměnlivosti dodávky.

V (viz. Tabulka 7.1) je uvedeno množství znečišťujících látek v kg na MWh, pro výrobu elektřiny v uhelných elektrárnách.

Znečišťující látky v kg/MWh	Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	C _x H _y	CO ₂
Výroba elektřiny v uhelných elek.	0,375	1,873	1,588	0,4	0	898,3

Tabulka 7.1 Množství znečišťujících látek v [kg/MWh]

Výpočet množství znečišťujících látek za rok například pro tuhé látky:

$$m_{\text{TL,rok}} = w_r \cdot m_{\text{TL}} = 4\,350,565\,27 \cdot 0,375$$

$$Nm_{\text{TL,rok}} = 1631,46 \quad [\text{kg}] \quad (7.3)$$

Kde: w_r - celkové množství vyrobené energie za rok [MWh]

m_{TL} - množství tuhých látek z uhelných elektráren [kg/MWh]

Znečišťující látky	Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	C _x H _y	CO ₂
Množství znečišťujících látek [kg/rok]	1631,5	8148,6	6908,7	1740,2	0,0	39081 12,8

Tabulka 7.2 Výpočet zbývajících množství znečišťujících látek za rok [kg/rok]

7.3.1 HLUČNOST

Hlučnost z větrných elektráren můžeme rozdělit na hluk širokopásmový, impulzní, nízkofrekvenční, který se pohybuje v rozmezí od 1 až do 200 [Hz] a hluk ve kterém jsou obsaženy to'nové složky.

Další rozdělení hlučnosti je podle zdroje hluku, a to na:

- víry nebo také turbulence, které vznikají na koncích jednotlivých listů
- zdroj z mechanických částí, v našem případě minimální v důsledku absence převodovky
- další mohou být malé tlakové pulzy, které vznikají interací listů s proudem vzduchu u stožárů

Poslední rozdělení je podle původu, a to na aerodynamický nebo mechanický hluk.

Hluk z mechanického původu vzniká hlavně ve strojovně, nebo také gondole a nezávisí na výšce, ve které se nachází. V současnosti je hluk ze strojovny díky moderním technologiím a také díky absenci převodovky malý. Hluk z gondoly může pocházet z několika součástí, a to z generátoru, ze servomotorů, které se používají pro natáčení gondoly a z chladících ventilátorů. Hluk se do prostoru může přenášet dvěma způsoby, a to přímou cestou takzvaná air borne cesta nebo se přenáší konstrukcí tzv. structure borne. Hluk se do konstrukce přenáší z gondoly, a následně se chová jako zdroj hluku. Zdroje hluku z gondoly lze tlumit tlumiči hluku, akustickými izolacemi, vibračními izolátory, vibračními podložkami a také přímo navrhováním konstrukce větrné elektrárny, která bude omezovat přenosové cesty hluku po celé konstrukci.

Aerodynamický původ vzniká turbulentním prouděním vzduchu kolem listů. U moderních větrných elektráren je právě tento původ hluku největší. Turbulence mohou vznikat dvojím způsobem, a to přímo v atmosféře nebo při obtékání vzduchu kolem listů. Aerodynamický hluk řadíme mezi širokopásmový a pohybuje se mezi 500 až 1000 [Hz]. Na tento daný hluk je amplitudově modulovaný nízkofrekvenční signál, a ten odpovídá frekvenci, při které listy rotoru míjejí stožár. Většinou se pohybuje v rozmezí 1 až 2 [Hz]. Tento hluk bývá často lidmi popisován jako svištění a právě na tento hluk si lidé nejvíce stěžují. Může být mylně označován také za nízkofrekvenční hluk. Svištění

je modulací vyšší frekvence, které má původ v turbulencích, které vznikají pohybem špiček listů rotorů a vzniklé frekvence nepatří do hluku o nízkých frekvencích, tedy 1 až 200 [Hz]. Se zvětšující se vzdáleností se vnímání těchto pulzací snižuje.

Hygienické limity hluku jsou stanoveny na 40 [dB]. Moderní větrné elektrárny například dvoumegawattové splňují tyto limity na vzdálenost 500 metrů od stožárů. V našem případě je nejbližší usedlost zhruba 700 metrů od stožáru, tudíž je zaručeno splnění hygienického limitu.

7.3.2 VLIV NA ZVĚŘ

Na poli ochrany přírody existuje mnoho organizací. Jmenujme například britskou Královskou společnost na ochranu ptáků či světový fond pro ochranu přírody. Tyto organizace podporují výstavby větrných elektráren, protože pro zvířata nepředstavují přílišné nebezpečí. Vliv větrné elektrárny na zvěř je třeba rozdělit do dvou skupin. První skupina zvířat je ptactvo, druhá je zvěř pohybující se po zemi, jako například srnky, zajíci a podobně.

Někdy bývají větrné elektrárny považovány za zabijáky ptáků. Skutečnost je však odlišná. V České republice na větrných farmách bylo vyzorováno, že počet mrtvých ptáků u větrných turbín se pohyboval mezi 1 až 3 kusy za rok na jednu větrnou turbínu. Pro srovnání úmrtnost ptáků na silnicích, stožárech vysokého napětí nebo například na skleněných překážkách, vykazují řádově mnohem větší čísla úmrtnosti. Je třeba podotknout, že rotující listy vrtule pro ptáky představují jisté nebezpečí, avšak ne vysoké. Větrné elektrárny jsou pro ně viditelná překážka, tudíž ji oblétají, avšak problémy mohou nastat za zhoršených podmínek, jako je například noc nebo mlha. Ani tehdy ale nebyly pozorovány fatální důsledky. Střet s točící se lopatkou nemusí dopadnout špatně, i když obvodová rychlost na konci lopatek může dosahovat až 200 kilometrových rychlostí v hodině. Na kamery bylo zachyceno, že vzduchový polštář na obepínající lopatky dokáže ptákem smýknout, aniž by ho zranil či zabil. Dříve zmíněná britská Královská společnost na ochranu ptáků provedla měření na větrných farmách ve Walesu. Závěr zněl, že na každých 10 tisíc ptáků, prolétajících větrnou farmou, dojde k jednomu usmrcení. To znamená, že na jednu vrtuli připadá maximálně jedna až dvě smrtelné nehody za rok. Podobné studie se odehrály i v jiných zemích jako USA (2,19 usmrcení za rok na jednu turbínu) nebo ve Španělsku či Finsku, kde jsou čísla ještě mnohem nižší, a to (0,13 a 0,2). Je třeba zmínit, že byly zaznamenány i případy většího množství zabití ptáků, jako například v Kalifornii (větrná farma v Altamont Pass). Hlavní vinu na tom neslo špatné umístění. Proto je třeba dbát na to, aby se podobné situace už neopakovaly a stavět větrné elektrárny mimo migrační cesty ptáků a mimo chráněných oblastí. Dnes není možné v těchto lokalitách u nás stavět větrné farmy, a proto jsme zvolili lokalitu, která již má ve své blízkosti větrné turbíny, a tím pádem splňuje kritéria pro výstavbu.

Dalším problémem by mohly elektrárny být pro pozemní zvěř. Při pozorování myslivců v Dolním Sasku se ukázalo, že nevidí ve větrných elektrárnách vážný rušivý element pro zvěř. Počáteční vypuzující efekty se rychle zkompenzovaly, díky rychlé adaptaci jak ptáků, tak zvěře. Mylné jsou také obavy o případném vyhánění lišek, zajíců a jiných druhů zvěře. Toto tvrzení potvrdil tříletý výzkum Ústavu pro divoce žijící zvěř na Veterinární univerzitě v Hannoveru. Sledovalo se rozsáhle území, na kterém se nachází 36 větrných turbín a výsledky se porovnávaly s územím, kde větrné elektrárny nejsou. Výsledkem bylo, že v oblastech s výskytem větrných zařízení se pohybuje stejné množství zvěře, ba dokonce víc než v oblastech bez výskytu větrných zařízení. Je třeba podotknout i to, že v oblastech s elektrárnami docházelo k výstavbě dalších elektráren. Závěrem lze říci, že provoz elektráren nevede ani k odchodu zvěře ani jí nenutí se těmto místům vyhýbat, jelikož zvěř si na přítomnost zařízení zvykne a nepředstavují pro ně rušení. Větrné farmy nepředstavují problém ani pro zemědělce, jelikož skot a jiná domácí zvěř se běžně pase v jejich blízkosti. [9]



Obrázek 7.1 Skot pohybující se na větrné farmě [6]

7.3.3 Vliv na televizní, rádiový a telekomunikační signál

Problém s rušením televizního, rádiového a telekomunikačního signálu může nastat. Problém s rušením signálu může nastat tehdy, je-li elektrárna příliš blízko antény vysílače. V České republice je většina usedlostí v dostatečné vzdálenosti od větrných elektráren. Můžeme tedy hovořit spíše o problému teoretickém. V případě že by přece jen došlo u televizního signálu k rušení, je možno přejít na satelitní příjem. Závěr je takový, že běžný provoz televize, rozhlasu a mobilních sítí není větrnou elektrárnou rušen. Jak již bylo dříve v (viz. kapitola 6.1) zmíněno, nejbližší usedlost se nachází zhruba 700 metrů od plánované výstavby větrné elektrárny, tudíž není důvod obávat se možných rušivých účinků.

7.3.4 Stín vrtule (discoefekt)

Problém s vrháním stínu, například na usedlosti nastává jen za slunečních dní. Ve většině případu k tomu může docházet hlavně ráno nebo podvečer, kdy je Slunce nízko nad obzorem a tím pádem vrhá stín do větších vzdáleností. Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, většina větrných elektráren se staví dále od usedlostí a při projekci podobných projektů jsou tyto problémy brány v úvahu a elektrárny se staví tak aby discoefekt z vrtulí elektráren nezasahoval do lidských obydlí. Námi zvolená lokalita je situována severně od obce Rejchartice. Jelikož je naše země na severní polokouli, tím pádem nemůže vrhat stín na obci. Severně, severovýchodně ani severozápadně od plánované výstavby se nenachází žádné usedlosti, takže není možné, aby docházelo k rušivému efektu stínu elektrárny.

7.3.5 RÁZ KRAJINY A TURISMUS

Vliv větrných elektráren na krajinný ráz je hodnocen z pohledu člověka a ve výsledku může být velmi subjektivní. Pro někoho jsou elektrárny ošklivé, pro jiného pěkné. Konec konců v krajině, jako je Česká republika, je mnoho různých elektrifikačních nebo telekomunikačních stožárů a větrné elektrárny jsou zatím nezvyklým prvkem. Paradoxně se větrné elektrárny mohou dostávat do rozporu s požadavkem státní ochrany přírody, a to z důvodu nenápadnosti, kdy se z důvodů bezpečnosti leteckého provozu montují na stožáry zábleskové zařízení kvůli viditelnosti. Samozřejmě s trendem narůstajících rozměrů elektráren, roste i jejich viditelnost v krajině. Elektrárny také mohou sloužit i jiným účelům, a to hlavně montováním různých telekomunikačních vysílačů na jejich stožáry. Tím z krajiny odpadá nutnost vystavovat nové telekomunikační stožáry. Velkou výhodou větrných elektráren je, že po uplynutí zhruba 20 let, kdy končí jejich životnost, lze elektrárnu prostě rozebrat a nevytvářet tak zdevastované krajiny, jako například po uhelné těžbě. Po skončení životnosti může být elektrárna nahrazena novou moderní elektrárnou.

Co se týče turistického ruchu, byla britskou parlamentní komisí z roku 2006 vypracovaná studie vlivu větrných farem na turistický ruch a nebylo zjištěno, že by docházelo k poklesu návštěvnosti. Ve skutečnosti byl efekt spíše opačný a návštěvnost těchto míst se zvýšila. Potvrzují to i návštěvnosti větrných elektráren, například v Jindřichovicích pod Smrkem na Liberecku nebo také v oblasti Pavlova na Jihlavsku.

[9]

Pokud jde o námi zvolenou lokalitu pro výstavbu větrné elektrárny tak by z větší části z obce Rejchartice vůbec neměla být vidět, pravděpodobně ze zakřivení kopce elektrárna nebude vidět vůbec. Takže se není nutno obávat negativních dopadů na turismus.

8. ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo zhodnotit možné nasazení velké větrné elektrárny, konkrétně elektrárny od společnosti ENERCON typ E82 o jmenovitém výkonu 2 [MW], ve vybrané lokalitě a zhodnotit její energetický potenciál. Pro průměrnou rychlost větru 6,1 [m/s], jsme sestavili analýzu větrných poměrů. Na základě znalosti průměrné rychlosti větru, jsme byli schopni zjistit, jak velké množství energie za rok je elektrárna schopna vyprodukovat. V našem případě v dané lokalitě, je elektrárna schopna vyprodukovat 4 350 565,27 [kWh] za rok.

Dalším krokem bylo zjistit celkovou návratnost projektu. Celkové počáteční náklady činily 90 milionu korun, a tudíž při spočtené roční produkci elektrické energie nám vyšlo, že návratnost celé investice je zhruba 9,75 let. Výrobci a firmy, zabývající se výstavbou těchto větrných elektráren udávají návratnost mezi 8 až 10 lety. Z toho nám vyplývá, že daná elektrárna ve zvolené lokalitě bude ekonomicky přijatelná.

Z environmentálního pohledu by elektrárna neměla být škodlivá, a to ať už z hlediska vlivu na zvěř, na hluk, na telekomunikační, televizní nebo rádiový signál, a ani z hlediska vrhu stínu nebo negativního vlivu na ráz krajiny či turismu.

Je jisté, že cesta výroby energie z obnovitelných zdrojů, je cesta správným směrem a lidstvo se musí postupně zbavovat závislosti na fosilních palivech, protože už v dohledné budoucnosti nastanou problémy s jejich nedostatky. Také z hlediska životního prostředí je nutno více využívat tzv. čistou energii, protože už dnes pocítujeme změny v klimatu.

SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ

- [1] *Česká společnost pro větrnou energetiku: větrné elektrárny ve světě: větrné elektrárny-Evropa* [online]. [cit. 2014-05-11].
Dostupné z: <http://csve.cz/clanky/vte-v-evrope/282>
- [2] *Česká společnost pro větrnou energetiku: větrné elektrárny ve světě: větrné elektrárny-svět* [online]. [cit. 2014-05-11].
Dostupné z: <http://csve.cz/clanky/vte-v-evrope/283>
- [3] *Česká společnost pro větrnou energetiku: vzdělávání* [online].
[cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://csve.cz/cz/kategorie/vzdelavani/13>
- [4] *Foto mapy: Kozí Skalka* [online]. 26.5.2012 [cit. 2014-05-11].
Dostupné z: <http://foto.mapy.cz/296570-Kozi-skalka>
- [5] HANSLIAN, David, Jiří HOŠEK, Zuzana CHLÁDOVÁ a Lukáš POP. *TZB-info: obnovitelná energie a úspory energie: větrná energie* [online]. 22.4.2013 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/9800-vetrne-podminky-v-ceske-republice-ve-vysce-10-m-nad-povrchem-ii>
- [6] KADLÍK, Petr. *Příroda: lexikon přírody* [online]. 4.5.2012 [cit. 2014-05-11].
Dostupné z: <http://www.priroda.cz/lexikon.php?detail=1878>
- [7] KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998 . 102 s. ISBN 80–7078–445–8
- [8] LUPÍŠEK, Antonín. *Ekoblog: energie: dokončeny dvě největší větrné elektrárny v ČR* [online]. 3.3.2008 [cit. 2014-05-11].
Dostupné z: <http://www.ekoblog.cz/?q=node/174>
- [9] *Ministerstvo životního prostředí: větrné elektrárny* [online]. [cit. 2014-05-11].
Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/vetrne_elektrarny
- [10] *Obnovitelné energie: větrné mikroelektrárny: větrné elektrárny v ČR* [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://obnovitelne-energie.cz/vetrne-elektrarny.php>

- [11] *Otevřená encyklopedie Wikipedie: anemometr* [online]. 24.3.2014
[cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Anemometr>
- [12] *Otevřená encyklopedie Wikipedie: Nový Hrádek* [online]. 2.11.2013
[cit. 2014-05-11]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Nový_Hrádek
- [13] RYCHETNÍK V.; PAVELKA, J.; JANOUŠEK, J. *Větrné motory a elektrárny*. Vyd. 1. - Praha : České vysoké učení technické, 1997. - 199 s. ISBN 80-01-01563-7.
- [14] *Skupina ČEZ: výroba elektřiny: obnovitelné zdroje: vítr* [online].
[cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje/vitr/flash-model-jak-funguje-vetrna-elektrarna.html>
- [15] TURNER, W., C. *Energy Management Handbook*. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 40 s. ISBN: 0-13-728098-X.
- [16] *Ústav fyziky atmosféry AV ČR* [online]. [cit. 2014-05-11].
Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz>
- [17] *Enercon: produkte a servise: Windenergieanlagen* [online].
[cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.enercon.de/de-de/62.htm>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 Beaufortova stupnice síly větru

Tabulka 5.1 Větrná elektrárna ENERCON E82 technická data

Tabulka 5.2 Vypočtené výsledky větrné analýzy

Tabulka 7.1 Množství znečišťujících látek v [kg/MWh]

Tabulka 7.2 Výpočet zbývajících množství znečišťujících látek za rok [kg/rok]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 3.1 Podíl zemí EU na celkovém instalovaném výkonu [%], [1]

Obrázek 3.2 Celkový instalovaný výkon VE v EU v letech 2000/12 [GW], [1]

Obrázek 3.3 Nově instalovaný a celkový výkon větrných elektráren
v jednotlivých zemích na konci roku 2012 [MW], [2]

Obrázek 2.4 Anemometr-čidlo rychlosti a směru větru, [11]

Obrázek 3.5 Třílístá větrná elektrárna, Nový Hrádek, [12]

Obrázek 4.1 Stavba největší větrné turbíny v ČR, [8]

Obrázek 4.2 Větrná mapa ČR v 10 m nad zemí [m/s], [10]

Obrázek 5.1 Ocelový fundament na betonové desce [3]

Obrázek 5.2 Možnosti ukotvení elektráren na vodě (moři) [3]

Obrázek 5.3 Plech skružovaný na skružovací stoličce [3]

Obrázek 5.4 Základní popis strojovny od společnosti SIEMENS [3]

Obrázek 5.5 Řez rotorovým listem větrné elektrárny [3]

Obrázek 6.1 Fotografie Kozího vrchu u obce Rejchartice, [6]

Obrázek 6.2 Větrná elektrárna RNERCON E82 [17]

Obrázek 6.2 Rozložení rychlostí větru v roce

Obrázek 6.3 Výkonová charakteristika elektrárny Enercon E82

Obrázek 7.1 Skot pohybující se na větrné farmě, [10]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Technická specifikace elektrárny ENERCON E82
Příloha B	Mapa oblasti a náčrt vedení pro zapojení do sítě
Příloha C	Foto a výkonové parametry elektrárny ENERCON E82 + výkonová křivka